

Д. М. КЛЕЦ, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ, Харьков

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕРОВНОЙ ДОРОГЕ

Предложен метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при наезде и съезде с неровностей, позволяющий уточнить оценку его устойчивости против заноса.

Ключевые слова: автомобиль, нормальные реакции, дорожные неровности, устойчивость.

Введение. В современном мире очень остро стоит проблема дорожно-транспортных происшествий, возникающих по причине неровностей автомобильных дорог [6]. Неровности автомобильных дорог являются одной из главных причин ухудшения функциональной стабильности эксплуатационных показателей колесных машин. Движение автомобиля по неровностям дороги сопровождается непрерывными ударами колес и колебаниями осей и кузова. В результате происходит дополнительное рассеивание энергии в шине и деталях подвески, достигающее иногда значительных величин [7]. Попадание колеса, движущегося с большим линейным ускорением на неровность, может привести к возникновению дорожно-транспортных происшествий.

Устойчивость против заноса влияет на безопасность движения и производительность колесных машин. Таким образом, представляет интерес оценка устойчивости автомобиля при движении его по неровной дороге.

Анализ последних достижений и публикаций. Вопросам исследования устойчивости колёсных машин посвящены работы значительного числа отечественных и зарубежных авторов [2, 8, 9, 11]. Движение автомобиля по неровной дороге рассматривается в работах [3, 5, 6, 7, 9, 12, 13]. Из практической эксплуатации известно, что движение автомобиля по неровной дороге сопровождается колебаниями, которые приводят к ухудшению его эксплуатационных свойств, что, в свою очередь, выражается в увеличении расхода топлива, ухудшении устойчивости и управляемости и вынуждает уменьшать скорость движения [9]. По данным служб автомобильных дорог областей Украины в 2008 году произошло 1151 ДТП из-за неудовлетворительного состояния автомобильных дорог, что составляет 2,9 % от общего количества ДТП [10]. В работе [12] предложена математическая модель вертикальных колебаний автомобиля, возникающих при преодолении искусственных дорожных неровностей, и проведен анализ результатов моделирования. В работе [3] указывается, что от 13 до 18 % ДТП, вызванных неблагоприятными дорожными условиями, объясняются неровным покрытием. Безопасность движения по неровным дорожным покрытиям ухудшается вследствие периодической разгрузки колес автомобиля из-за его колебаний, что приводит к снижению условий сцепления колеса с покрытием, а иногда и к отрыву колеса от дороги [13]. Известно, что величины нормальных реакций дороги на колеса автомобилей оказывают определяющее влияние на их тягово-скоростные свойства, управляемость, устойчивость и проходимость [11]. В работе [11] предложен метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при ускоренном движении на подъеме при наезде на неровность передними колесами

$$R_{N1} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta + f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L + e - ((L + e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta} \cdot \cos \beta; \quad (1)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w)(h - q) + G(a + e) \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f r_\delta [(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L + e - ((L + e) \sin \beta - q \cos \beta)(\sin \beta - \varphi \cos \beta) + f r_\delta}}{L + e - \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L + e - ((L + e) \cdot \sin \beta - q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}, \quad (2)$$

при съезде с неровности передними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h + G \cdot b \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta - f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta} \cdot \cos \beta; \quad (3)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (a - e) \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta \cdot [(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h - G \cdot b \cdot \cos \alpha - P_K \cdot r_\delta]}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}{(L - e) - \varphi \cdot q - f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L - e - ((L - e) \cdot \sin \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta}}, \quad (4)$$

при наезде на неровность задними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (b - e) \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta + f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}; \quad (5)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w)h + G a \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta [(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) - G(b - e) \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}}{- (L - e) + ((L - r_\delta) \cdot \sin^2 \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta - \varphi \cdot \cos \beta) + f \cdot r_\delta - \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L - e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}} \cos \beta, \quad (6)$$

при съезде с неровности задними колесами

$$R_{N1} = \frac{-(G \cdot \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) + G \cdot (b - e) \cdot \cos \alpha + P_K \cdot r_\delta - f \cdot r_\delta \cdot R_{N2}}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}; \quad (7)$$

$$R_{N2} = \frac{(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot h + G a \cos \alpha - P_K r_\delta - \frac{f \cdot r_\delta [(G \sin \alpha + P_{jx} + P_w) \cdot (h - q) - G(b + e) \cdot \cos \alpha - P_K r_\delta]}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}}{L + e + ((L + r_\delta) \cdot \sin^2 \beta + q \cdot \cos \beta) \cdot (\sin \beta + \varphi \cdot \cos \beta) - f \cdot r_\delta + \frac{f^2 \cdot r_\delta^2}{L + e + \varphi \cdot q + f \cdot r_\delta}} \cos \beta, \quad (8)$$

где G, P_K – общий вес и суммарная тяговая сила автомобиля;

a, b – расстояние от проекции центра масс на опорную плоскость до осей колес;

L, α – продольная колесная база автомобиля и угол продольного уклона дороги;

f, h – коэффициент сопротивления качению и высота центра масс автомобиля;

r_δ и P_w – динамический радиус колес и сила сопротивления воздуха;

P_{jx} – сила инерции поступательного движения автомобиля;

β – угол наклона касательной к поверхности профиля неровности;

q, e – высота неровности и смещение пятна контакта в продольной плоскости.

Как правило, дополнительное сопротивление, вызываемое неровностями дороги, учитывают, условно увеличивая коэффициент сопротивления качению [11]. Однако данная методика не позволяет определить изменение нормальных реакций дороги на колесах автомобилей с различными типами привода. Также в известной литературе не приведено влияние неровностей дорожного покрытия на показатели устойчивости против заноса. Таким образом, данные вопросы требуют дополнительного исследования.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является разработка метода оценки устойчивости автомобиля против заноса при движении по дорожным неровностям. Для достижения указанной цели необходимо определить коэффициент устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге.

Определение коэффициента устойчивости автомобиля при движении по неровной дороге. Рассмотрим переезд автомобиля через неровность синусоидального профиля. Профиль указанной неровности имеет следующий вид (см. рис. 1) и определяется ее высотой q , а также углом β – углом наклона касательной к поверхности профиля, который можно определить с помощью зависимости

$$\beta = \arctg\left(\frac{dq}{dt}\right). \quad (9)$$

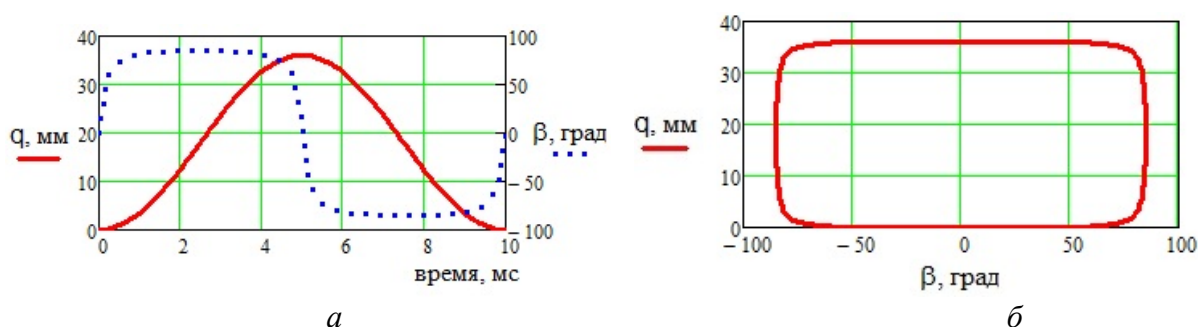


Рисунок 1 – Профиль единичной неровности: a – зависимость высоты неровности q и угла наклона касательной к поверхности профиля β от времени переезда через неровность; b – зависимость высоты неровности q от угла β

Используя зависимости (1) и (6), определим нормальные реакции на передних и задних колесах автомобиля при движении его по ровной поверхности и при наезде на неровность колесами соответственно переднего и заднего моста (см. рис. 2). Параметры автомобиля Audi A6, принятые при расчете, приведены в табл.

Таблица – Параметры автомобиля, принятые при расчете нормальных реакций дороги на его колесах

Параметр	Значение	Параметр	Значение
a , м	1,35	m , кг	2060
b , м	1,4	$k \cdot F$, Н·с ² /м ²	0,58
\dot{V}_{x_1} , м/с ²	0,1	K_R	0,5
L , м	2,75	r_∂	0,292
f_0	0,013	φ	0,8
h , м	0,55	q_0	0,018

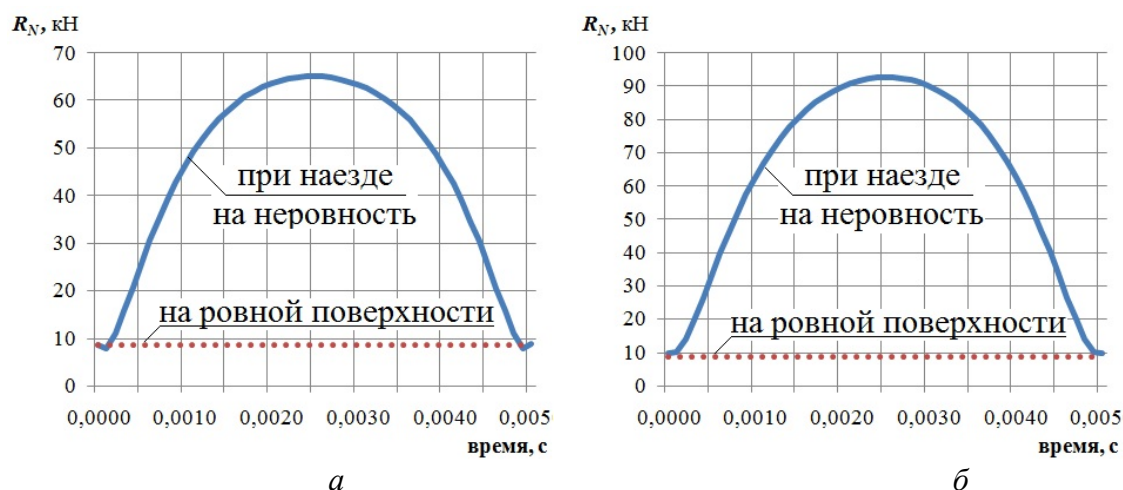


Рисунок 2 – Зависимость нормальной реакции дороги от времени движения при наезде на неровность и на ровной поверхности: *а* – движение переднего моста; *б* – движение заднего моста

Анализ рис. 2 показывает, что при наезде на неровности возникают кратковременные импульсы – увеличение нормальных реакций. Например, для автомобиля Audi A6 – в 6,5-9 раз по сравнению с движением на ровной поверхности. На рис. 3 приведена зависимость нормальных реакций от времени наезда на неровность при различных значениях массы автомобиля, а также при различных значениях высоты неровностей. При увеличении массы автомобиля, а также высоты неровностей, нормальные реакции возрастают.

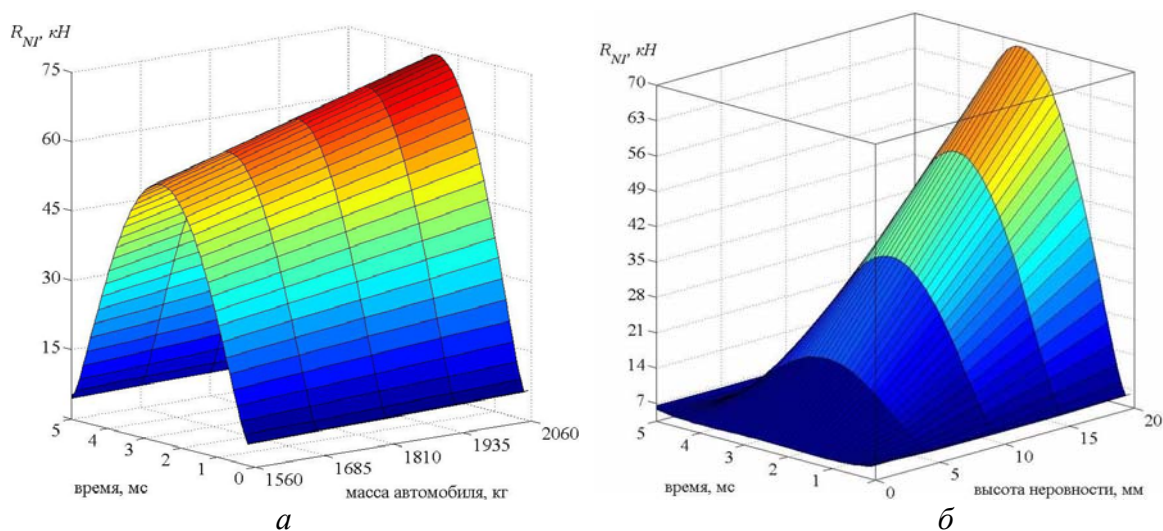


Рисунок 3 – Зависимость нормальных реакций от времени наезда на неровность: *а* – при различных значениях массы автомобиля; *б* – при различных значениях высоты неровностей

В работе [11] в качестве критерия устойчивости движения колесной машины предложен коэффициент устойчивости. Указанный коэффициент равен отношению момента стабилизирующего к возмущающему моменту и определяется из следующего соотношения

$$K_{уст} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta_2}}{R_{\delta_1}}, \quad (10)$$

где $R_{\delta_1}, R_{\delta_2}$ – боковые реакции дороги на осях;

$$R_{\delta_1} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_1}^2 - R_{k_1}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_1}^2 - K_R^2 \cdot R_k^2}; \quad (11)$$

$$R_{\delta_2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_2}^2 - R_{k_2}^2} = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_{N_2}^2 - (1 - K_R)^2 \cdot R_k^2}, \quad (12)$$

R_{k_1}, R_{k_2} – касательные реакции (суммарные) на колесах передней и задней осей,

$$R_k = m \cdot \dot{V}_{x_1} + P_w = m_a \cdot \dot{V}_{x_1} + k \cdot F \cdot V_{x_1}^2. \quad (13)$$

Определим с помощью зависимостей (1) – (8), подставляя их в выражения (11), (12) и (10), коэффициент устойчивости автомобиля Audi A6 при движении его по неровности. Зависимость $K_{уст}$ от времени наезда на неровности при различных значениях их высот q и $\varphi = 0,4$ приведена на рис. 4. Зависимость $K_{уст}$ автомобиля от угла β наклона касательной к поверхности профиля при различных значениях линейной скорости и продольного ускорения приведена на рис. 5. Зависимость $K_{уст}$ автомобиля от времени наезда на неровность при различных значениях коэффициента сцепления колес с дорогой, а также вид поверхности, образованной функцией $K_{уст} = f(t, \varphi)$, приведены на рис. 6.

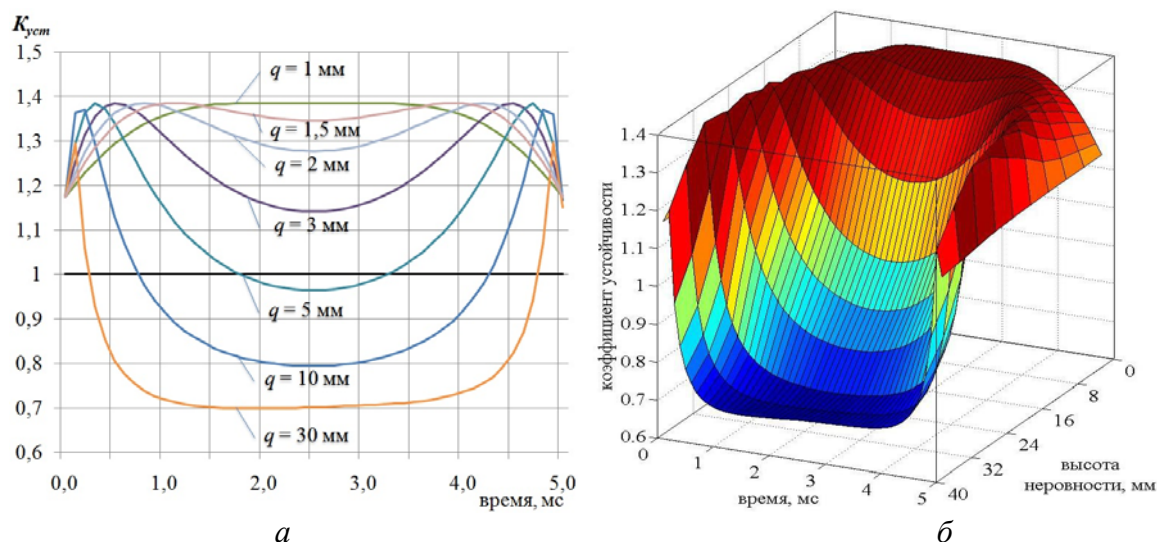


Рисунок 4 – Зависимость $K_{уст}$ от времени наезда на неровности при различных значениях высоты q и коэффициенте сцепления колес с дорогой $\varphi = 0,4$:
 а – двухмерный вид; б – трехмерный вид

Анализ рис. 4 показывает, что при значениях высоты неровности менее 4 мм, коэффициент устойчивости исследуемого автомобиля в заданных условиях движения принимает значения выше минимально допустимой величины ($K_{уст} \geq 1$). При $q > 4$, $K_{уст} < 1$. Анализ рис. 5 показывает, что при увеличении угла β наклона касательной к поверхности профиля коэффициент устойчивости снижается. Анализ рис. 6 показывает, что движение через неровность с рассматриваемыми параметрами не приведет к снижению коэффициента устойчивости ниже допустимой величины ($K_{уст} < 1$) при условии $\varphi \geq 0,6$, что соответствует поверхности «сухой асфальт» [1].

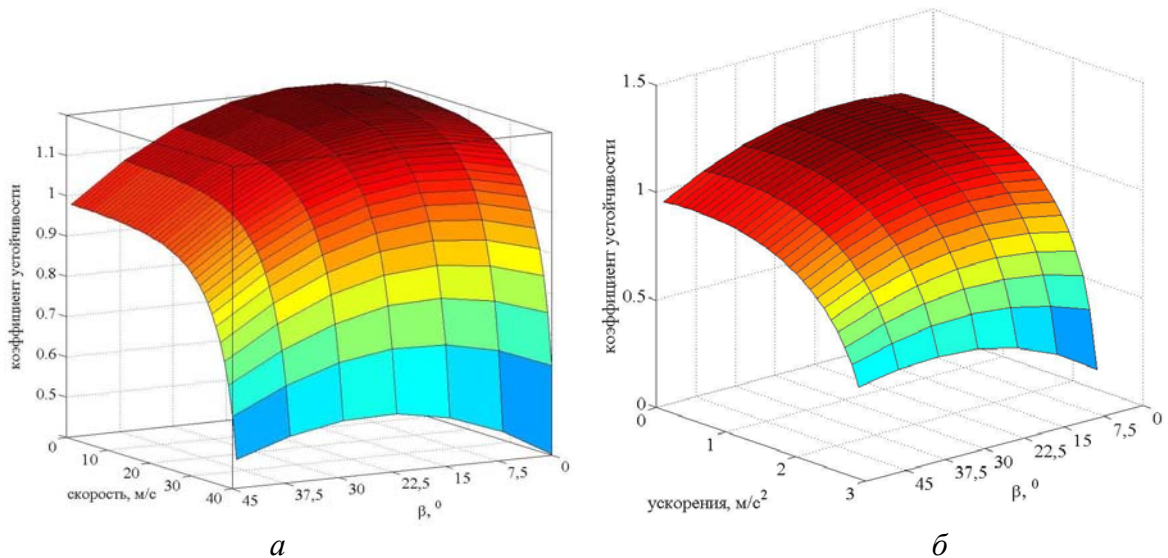


Рисунок 5 – Зависимость $K_{уст}$ автомобиля от угла β наклона касательной к поверхности профиля: а – при различных значениях линейной скорости; б – при различных значениях продольного ускорения

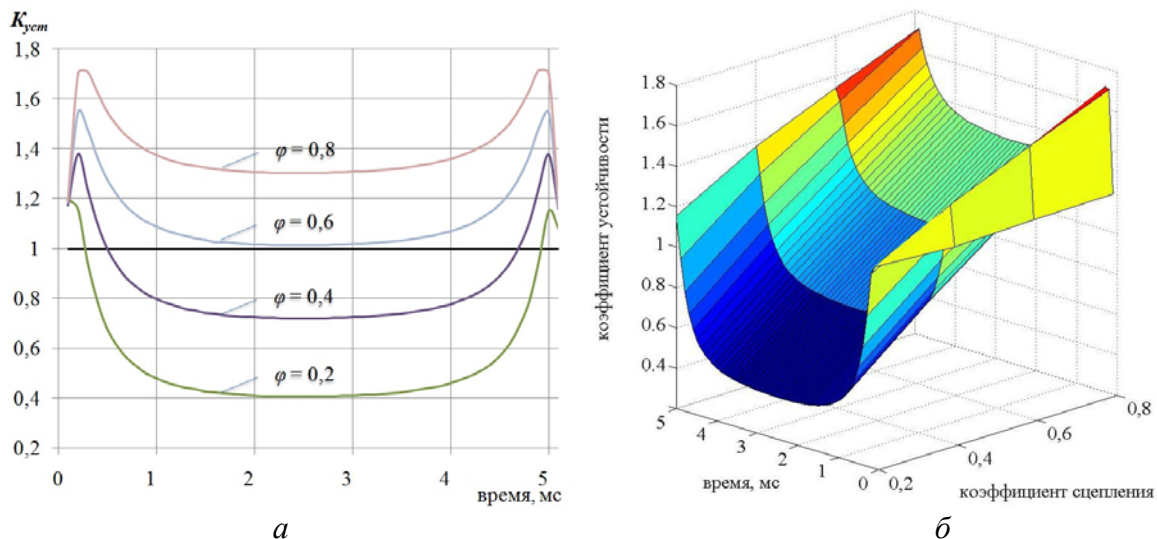


Рисунок 6 – Зависимость $K_{уст}$ автомобиля от времени наезда на неровность:
а – при значениях $\varphi = 0,2$; $\varphi = 0,4$; $\varphi = 0,6$; $\varphi = 0,8$; б – вид поверхности, образованной функцией $K_{уст} = f(t, \varphi)$

Выводы. Предложенный метод определения нормальных реакций на передних и задних колесах автомобиля при наезде и съезде с неровности позволяет уточнить оценку его устойчивости против заноса. При наезде автомобиля Audi A6 на неровности возникают кратковременные импульсы – увеличение нормальных реакций в 6,5-9 раз по сравнению с движением на ровной поверхности. При увеличении массы автомобиля, а также высоты неровностей, нормальные реакции возрастают. При увеличении угла β наклона касательной к поверхности профиля коэффициент устойчивости автомобиля против заноса снижается.

Список литературы: 1. Автомобильный справочник Bosch / [пер. с англ. Г.С. Дугин]. – Москва: За рулем, 1999. – 895 с. – (Первое издание на русском языке). 2. Аксенов П. В. Многоосные автомобили / Аксенов П. В. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с. 3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с. 4. ГОСТ Р 52605 – 2006 Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения / Национальный стандарт РФ – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с. 5. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория / А.И. Гришкевич // Учебник для вузов – Мн.: Высш. шк., 1986. – 208 с. 6. Долгилевич Ю.П., Костелев М.П., Хаккерт Я. Влияние некоторых составляющих асфальтобетонной технологии на долговременную ровность дорожных покрытий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://library.stroit.ru>. 7. Коноплянко В.И. Основы безопасности дорожного движения / В.И. Коноплянко – М.: ДОСААФ, 1978. – 128 с. 8. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с. 9. Мазур В.В. Определение параметров эксплуатационных свойств автотранспортного средства при движении по неровной дороге / В.В. Мазур // Научный журнал БрГУ "Системы. Методы. Технологии" – Вып. 2 – Братск, изд. БрГУ, 2009. – с. 39-41. 10. Моніторинг ДТП на автомобільних дорогах загального користування України за 2008 рік. – К.: ДерждорНДІ, 2009. – 48 с. 11. Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динамика автомобиля. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с. 12. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р. В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с. 13. Филиппов В.В., Смирнова Н.В., Кияшко Д.И. Оценка влияния неровностей дорожных покрытий на безопасность движения // Вестник ХНАДУ, 2009 – №47. – с. 112-126.

Надійшла до редколегії 20.05.2013

УДК 629.017

Оценка устойчивости автомобиля против заноса при движении по неровной дороге / Д. М. Клец // Серия: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 55–61. – Бібліогр.: 13 назв.

Запропоновано метод визначення нормальних реакцій на передніх і задніх колесах автомобіля при наїзді та з'їзді з нерівностей, що дозволяє уточнити оцінку його стійкості проти заносу.

Ключові слова: автомобіль, нормальні реакції, дорожні нерівності, стійкість.

A method of determining the normal reactions on the front and rear vehicle wheels when approaching with irregularities, allowing to refine the estimate of its resistance to skidding.

Key words: vehicle, normal reactions, road unevenness, stability.